



5. Гизатуллин З.М. Технология прогнозирования и повышения электромагнитной совместимости цифровых электронных средств при внешних высокочастотных импульсных электромагнитных воздействиях // Технологии электромагнитной совместимости. – 2010. – №3. – С. 22-29.

6. Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р.М., Зиатдинов И.Н., Шарафутдинов И.И. Помехоустойчивость средств вычислительной техники при динамических изменениях напряжения сети электропитания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2013. – №1-2. – С. 105–115.

7. Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р.М. Анализ качество электроэнергии в однофазной сети электропитания 220 Вольт 50 Герц // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2012. – №7-8. – С. 63-71.

8. Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р.М., Зиатдинов И.Н. Анализ функционирования вычислительной техники при воздействии электромагнитных помех по сети электропитания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2015. – №7-8. – С. 98-105.

Э.А. Хузияхметова

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ НА ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

(Казанский национальный исследовательский технический
университет имени А.Н. Туполева – КАИ)

По причине интеграции цифровых технологий в объекты электроэнергетики все в большей степени возрастает значимость проведения мероприятий по обеспечению электромагнитной совместимости. Проблема электромагнитной совместимости технических средств, связана с обеспечением нормального функционирования совокупностей электрических и электронных устройств [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7].

Распределительные пункты (РП) – 6-35 кВ являются важным элементом систем электроснабжения промышленных предприятий и распределительных электрических сетей среднего напряжения, обеспечивающим непосредственное электропитание высоковольтных потребителей электроэнергии [8]. Проведение исследования по выявлению электромагнитных помех, возникших в результате коммутации высоковольтного выключателя или трехфазного короткого замыкания, докажет факт неблагоприятного воздействия электромагнитного излучения на вторичную часть электроустановки, а именно на измерительные цепи интерфейса RS-485. Важно указать, что влияние электромагнитных помех на измерительную цепь может привести к ненормальному функционированию эксплуатируемых цифровых аппаратов (релейной защиты и автоматики и др.).

Рассмотрим вопрос влияния электромагнитных помех на электрооборудования высокого напряжения и на вторичные измерительные цепи интерфейса RS-485 [8]. Возникновение электромагнитного излучения обуславливается



коммутациями высоковольтных выключателей. В программном обеспечении MATLAB смоделирована распределительная электрическая сеть среднего напряжения, включающую в себя модельный распределительный пункт среднего напряжения. Рис. 1 отображает нормальный режим работы РП, фазные токи имеют нормальное значение ($I_A = I_B = I_C = 52\text{A}$), определяемое сопротивлением линии передачи и мощностью подключенной нагрузки.

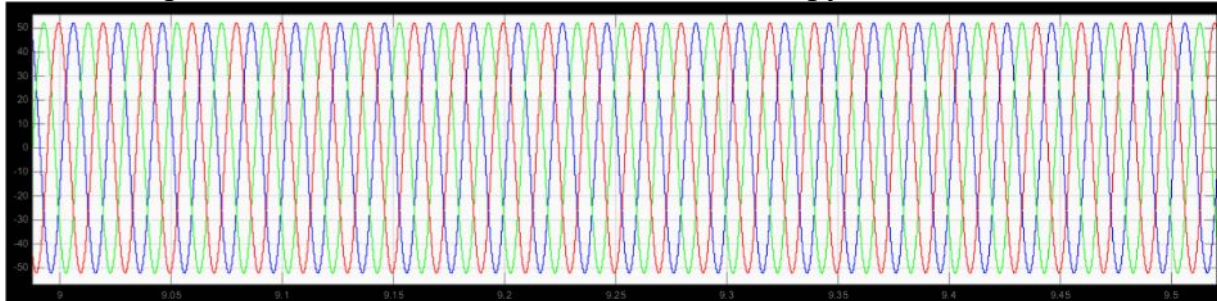


Рис. 1. График токов фазы А, фазы В, фазы С в Line 1 и Line 2 при нормальном режиме работы электроустановки

На рис. 2 проиллюстрированы значения токов фазы А, фазы В, фазы С. Когда в момент времени $t=9$ с сигнал переходит на нулевой уровень, модель выключателя срабатывает и размыкает цепь, в результате чего фазный ток уменьшается до нуля, при этом модель выключателя отрабатывает размыкание цепи при естественном переходе фазного тока через ноль. При $t=9,2$ с управляющий сигнал возрастает, и выключатель линии снова включается. На графике токов не наблюдается всплесков и выбросов, которые иногда возникают из-за неверного выбора метода интегрирования, библиотечных блоков выключателей или параметров модели.

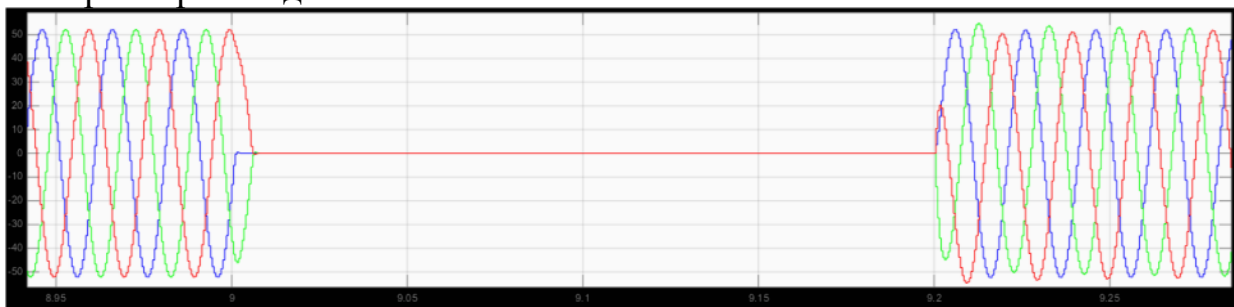


Рис. 2. График токов фазы А, фазы В, фазы С в Line 1 и Line 2 в момент коммутации

Кроме моделирования переходных режимов в схеме РП проводилось и моделирование трехфазных коротких замыканий, с целью определения аварийных величин тока в элементах РП, а именно на линиях электропередачи и на вторичной измерительной цепи, основанной на стандарте RS – 485 (рис. 3). Точка короткого замыкания поочередно размещалась в конце каждой линии электропередачи (между линией и нагрузкой 10 кВ). Короткое замыкание в модели осуществлялось библиотечным блоком Simulink «Three-Phase Fault», который обеспечивает широкий спектр возможностей: задание любого вида короткого замыкания (трехфазное, двухфазное, однофазное, наличие/отсутствие контакта с землей); учет переходного сопротивления в месте короткого замыкания, а при КЗ на землю – также и переходного сопротивления между фазами



и землей; задание параметров дугогасящей цепочки между контактами, обеспечивающими замыкание; настройка времени замыкания и размыкания контактов, причем допускается как использование внутренних настроек времени срабатывания, так и управление блоком по внешнему сигналу.

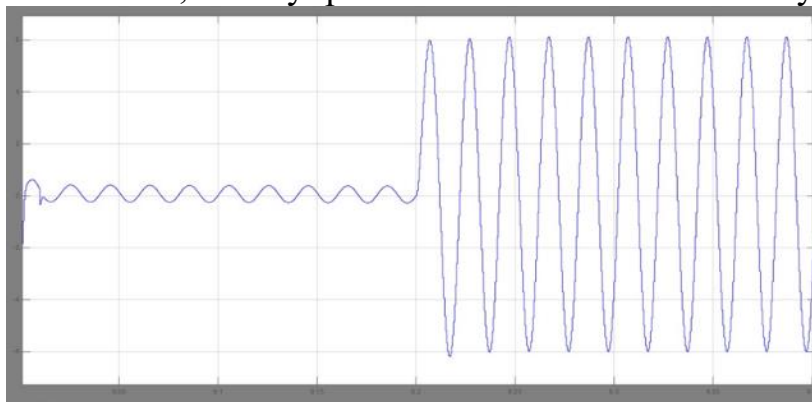


Рис. 3. График тока фазы А в измерительной цепи линии 1 при трехфазном КЗ на линии Line 1

В качестве примера на рис. 4-5 приведены графики токов при трехфазном КЗ на линии Line 1.

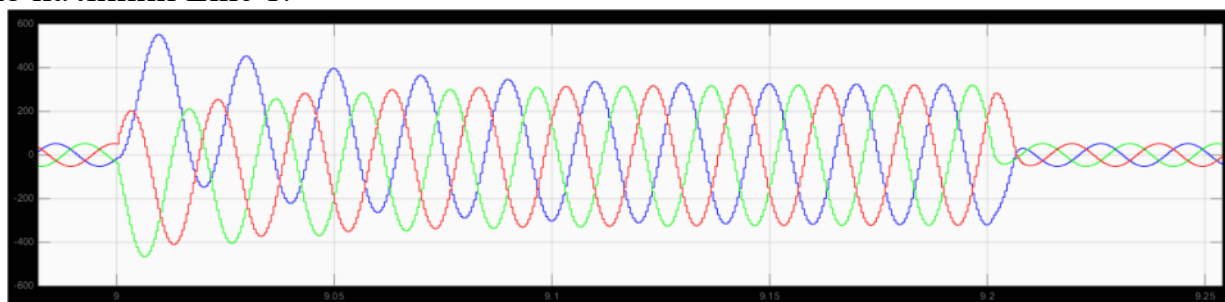


Рис. 4. Фазные токи линии Line 1 при трехфазном КЗ на линии Line 1

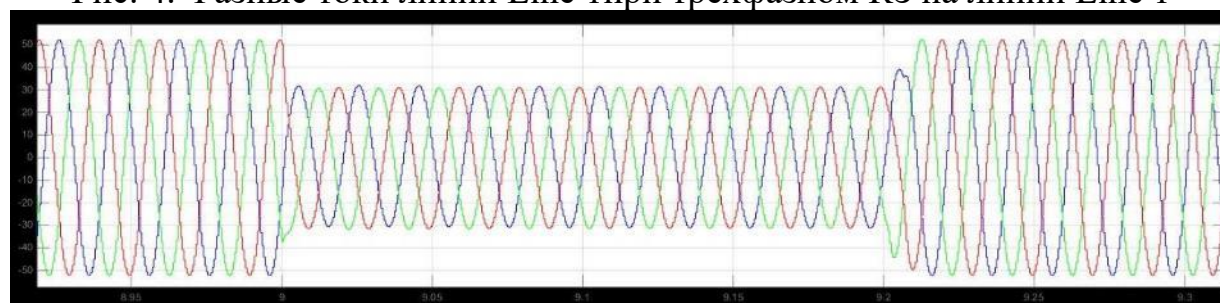


Рис. 5. Фазные токи линии Line 2 при трехфазном КЗ на линии Line 1

На рис. 4 и 5 изображены токи фаз А, В, С в измерительной цепи линии 1 и 2 при трехфазном КЗ на линии Line 1. При трехфазном КЗ в конце линии Line 1 максимальное значение фазного тока (ударный ток) достигает 6000А, амплитуда периодического тока КЗ равна 5000 А. Относительно малая величина ударного тока (по сравнению с периодическим током КЗ) и быстрое затухание процесса вызваны преимущественно активным сопротивлением линии, которое в три раза превышает индуктивное. На неповрежденных линиях (рис. 4) фазные токи при КЗ уменьшаются. Это объясняется тем, что напряжение на первой секции шин снижается из-за повышенного падения напряжения в источнике (примерно 2400В), а ток неповрежденных линий определяется именно величиной напряжения на шинах, поскольку других источников тока КЗ на стороне



нагрузки нет. В данном случае амплитудная величина фазных напряжений в течение короткого замыкания составляет 2400 В, что при пересчете на действующие значения дает $2400/\sqrt{2} = 1714$ В для фазных напряжений и $1714 \cdot \sqrt{3} = 2965,7$ В для линейных. Таким образом, в режиме короткого замыкания в конце линии Line 1 напряжение на шинах первой секции уменьшается до $U_{K3}/U_{ном} \cdot 100\% = 2965,7/10000 \cdot 100\% \approx 29,65\%$ от номинального значения.

Отключение короткого замыкания вызывает кратковременное появление высокочастотных колебаний в амплитудах токов неповрежденных линий и особенно в напряжениях, вызванных процессами перезаряда емкостей линий электропередачи. Из рис. 3 видно, что при трехфазном коротком замыкании наблюдается появление электромагнитных излучений в начале временного отрезка ($t=9$ с) трансформатор тока выдает значения тока фазы А равные 0, 1 А, после срабатывания релейной защиты ($t = 9,2$ с) ток нормализуется и значения тока фазы А составляет 5,8 А.

Таким образом, в данной статье, на базе математической модели распределительной электрической сети, рассматривался механизм воздействия внесистемных и внутрисистемных электромагнитных помех, возникших в результате коммутации высоковольтного выключателя и трехфазного короткого замыкания, и воздействующих на нормальное функционирование электроустановки и устройств, эксплуатируемых в нем. С учетом математического расчета электромагнитных помех и графических составляющих математической модели распределительной сети среднего напряжения определили влияние возникших электромагнитных помех в момент коммутации высоковольтного выключателя и в момент трехфазного короткого замыкания. Также было определено негативное воздействие на измерительные цепи (RS-485) в момент моделирования трехфазного короткого замыкания в силовой части РП среднего напряжения. Использование оптоволоконных сетей нивелируют большинство проблем, связанных с помехоустойчивостью и низким качеством переданной информации [8].

Литература

1. Уильямс Т., Армстронг К. ЭМС для систем и установок. – М: Издательский Дом «Технологии», 2004. – 508 с.
2. Гизатуллин З.М. Электромагнитная совместимость электронных средств объектов электроэнергетики при внешних электромагнитных воздействиях по сети питания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2007. – №9-10. – С. 37-45.
3. Гуревич В. Проблема электромагнитных воздействий на микропроцессорные устройства релейной защиты. Часть 3 // Компоненты и технологии. – 2010. – №4. – С. 91-96.
4. Гизатуллин З.М. Технология прогнозирования и повышения электромагнитной совместимости цифровых электронных средств при внешних высокочастотных импульсных электромагнитных воздействиях // Технологии электромагнитной совместимости. – 2010. – №3. – С. 22-29.



5. Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р.М., Зиятдинов И.Н., Шарафутдинов И.И. Помехоустойчивость средств вычислительной техники при динамических изменениях напряжения сети электропитания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2013. – №1-2. – С. 105–115.

6. Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р.М. Анализ качество электроэнергии в однофазной сети электропитания 220 Вольт 50 Герц // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2012. – №7-8. – С. 63-71.

7. Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р.М., Зиятдинов И.Н. Анализ функционирования вычислительной техники при воздействии электромагнитных помех по сети электропитания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2015. – №7-8. – С. 98-105.

8. Optical bus of centralized relay protection and automation system of medium voltage switchgear for data collection and transmission / I.N. Lizunov, E.A. Khuziyakhmetova, R.I. Ermeev, R. S. Misbakhov // Journal of Fundamental and Applied Sciences. 2017, No. 7S, Vol. 9. pp. 763-787.

А.А. Царёв, А.Ю. Привалов

СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИБРИДНОЙ МОДЕЛИ И МОДЕЛИ ТИПА SLAW ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОЙ ПОДВИЖНОСТИ

(Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королёва)

Введение

Наличие адекватной модели перемещений узлов в беспроводных сетях очень важно для корректной оценки характеристик при моделировании поведения реальных сетей. Это особенно важно для такого класса беспроводных сетей, как сети, толерантные к задержкам – DTN. Данные сети характеризуются короткими сеансами связи, поэтому в некоторый момент времени фактического соединения между источником сообщения и его получателем может не существовать, а появиться он может только в случае изменения положения узлов сети. Поэтому адекватность модели перемещений реальной ситуации является ключевым фактором в правильной оценке таких фундаментальных характеристик протоколов DTN сетей, как вероятность доставки сообщения и распределение вероятностей задержки доставки пакета. Поэтому в течение последнего десятилетия многие работы были посвящены исследованию реальных человеческих перемещений и разработке адекватной им модели.

В последнее время [1, 2 3] был разработан новый тип моделей, который можно обозначить как SLAW-подобные модели (Self-Similar-Least Action Walk), и которые способны одновременно смоделировать несколько важных особенностей реальных человеческих перемещений: распределение расстояний между соседними путевыми точками, распределение времени остановок в них, кластеризацию путевых точек, и самоподобный характер их расположения